

КОНСТРУЮВАННЯ РАДІОАПАРАТУРИ

УДК 621.396

РАДІОЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ЯК ОБ'ЄКТ ТЕОРІЇ ГІПЕРВИПАДКОВИХ ЯВИЩ

Зінковський Ю.Ф., Уваров Б.М.

Вступ. Постановка проблеми

Системний підхід до вивчення складних явищ, що був застосований у 70-х роках минулого століття для потреб керування економікою, у подальшому став ефективним інструментом у технічній галузі знань для аналізу та синтезу технічних об'єктів [1].

Технічний об'єкт з точки зору системного підходу – це замкнена ієрархічна система взаємодіючих складових – систем, функціональних вузлів та елементів, об'єднаних єдиним функціональним призначенням, а у найбільш абстрагованому понятті – множина, яка реалізує наперед задане співвідношення між фізичними величинами з фіксованими властивостями.

Пристрої радіоелектронної апаратури (РЕА) виділяються з усіх інших своєю високою складністю, а особливості радіоелектронних засобів (РЕЗ) можливо визначити, якщо підійти до них самих (їх функцій, структури, конструкції, умов експлуатації) з позицій системного аналізу, тобто розглядати будь-який РЕЗ як систему, а фізичні процеси, що відбуваються у ньому – з точки зору функціонального призначення.

Системний аналіз пристроїв РЕА виявляє їх унікальність, відрізняє з усіх інших технічних об'єктів; у першу чергу необхідно у них виділити:

- складність:
 - функціональну;
 - структурну;
 - топологічну;
 - конструктивну;
 - технологічну;
- широкий діапазон умов експлуатації;
- стійкість до зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Суть *функціонального призначення РЕА* у найбільш загальному вигляді можна сформулювати наступним чином. Кожний РЕЗ проектується, як технічний об'єкт, робочими характеристиками якого повинна бути множина фізичних величин z_i , а їх сукупність можна подати як оператор

$$\mathbf{Z} = [z_1, z_2 \dots z_i \dots z_n]^T. \quad (1)$$

Під час функціонування РЕЗ у ньому здійснюються процеси, результатами яких повинна бути множина фізичних величин – вихідних характеристик y_i , а їх сукупністю буде оператор

$$Y = [y_1, y_2 \dots y_i \dots y_n]^T. \quad (2)$$

Якщо РЕЗ виконує свої функції успішно, повинні виконуватися умови:

- $Y \in Z$, тобто множина Y знаходиться у просторі Z ;
- кожна з вихідних характеристик знаходиться у необхідних (наперед заданих) межах: $z_{minP} \leq y_i \leq z_{maxP}$.

Оператор Y у процесі функціонування створюється, як результат:

- внутрішніх процесів

$$P = [p_1, p_2 \dots p_k \dots p_l]^T, \quad (3)$$

- вхідних керуючих впливів

$$X = [x_1, x_2 \dots x_j \dots x_m]^T, \quad (4)$$

- множини зовнішніх впливів

$$Q = [q_1, q_2 \dots q_r \dots q_s]^T. \quad (5)$$

Таким чином, операторне зображення стану РЕЗ у процесі функціонування можна подати рівнянням $Y = Y(P, X, Q)$, а всі особливості цього процесу й самого об'єкту можливо визначити з рівнянь (2)...(5), деталізованих до відповідного рівня за допомогою методів системного аналізу.

Різні функції РЕЗ можуть бути позначені як різні оператори Z_v , а комплексна функція всього пристрою – як функціонал

$$F = [Z_1, Z_2 \dots Z_v \dots Z_w]^T.$$

З аналізу цих, навіть узагальнених, виразів видно, що кожний РЕЗ – це складна ієрархічна система взаємопов'язаних компонентів, кожний з яких у більшості випадків також є досить складною структурою. Методи проектування та виготовлення такого технічного об'єкту повинні відповідати сутності процесів, що у ньому відбуваються під час функціонування й які відображаються операторами $Y = [y_1, y_2 \dots y_i \dots y_n]^T$ (знов таки деталізованими до найнижчого, предметного рівня).

Основними процесами у РЕА можна вважати:

- електромагнітні;
- тепломасопереносу;
- механічні;
- іонізаційні;
- інформаційні.

Базовими рівняннями для математичних моделей всіх енергетичних процесів є система рівнянь Лагранжа 2-го роду в узагальнених координатах q_i , кожне з яких можна подати у вигляді:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} + \frac{\partial U}{\partial q_j} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_j} = Q_j, \quad j = 1, 2, \dots, k, \quad (6)$$

де T – кінетична енергія, U – потенціальна; Φ – функції розсіювання енергії; Q – узагальнена сила.

Після відповідних перетворень з (6) можна одержати диференціальні рівняння для операторів Y конкретних енергетичних процесів, що відбува-

ються у РЕА:

– для електромагнітних процесів – стандартні вирази рівнянь Максвелла:

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial \tau}; \quad \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial \tau}; \quad \operatorname{div} \mathbf{B} = 0; \quad \operatorname{div} \mathbf{D} = 4\pi \rho, \quad (7)$$

де вектори: \mathbf{H} – магнітної напруженості; \mathbf{j} – щільності струму; \mathbf{D} – електричної індукції; \mathbf{E} – електричної напруженості; \mathbf{B} – магнітної індукції;

– для електричних послідовного та паралельного кіл з резистором R , індуктивністю L , ємністю C :

$$L \frac{d^2 q_e}{d\tau^2} + R \frac{dq_e}{d\tau} + \frac{q_e}{C} = E(\tau); \quad C \frac{d^2 U}{d\tau^2} + \frac{1}{R} \frac{dU}{d\tau} + \frac{1}{L} U = \frac{di}{d\tau}, \quad (8)$$

де q_e – заряд конденсатора, E – електрорушійна сила та U – напруга джерела струму, τ – час;

– для процесів тепломасопереносу у об'ємі тіла (речовині) – систему рівнянь[2]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = K_{22} \nabla^2 T + K_{21} \nabla^2 u; \quad \frac{\partial u}{\partial \tau} = K_{11} \nabla^2 u + K_{12} \nabla^2 T, \quad (9)$$

де T – температура, u – вологовміст у об'ємі; коефіцієнти:

$$K_{11} = a_m; \quad K_{12} = a_m \delta; \quad K_{21} = a_{m1} \frac{r_{12}}{c}; \quad K_{22} = a + a_{m1} \frac{r_{12}}{c};$$

де a , a_m , a_{m1} – коефіцієнти температуропровідності речовини, масопровідності вологи, пари відповідно; c – зведена теплоємність речовини у об'ємі; δ – відносний коефіцієнт термодифузії; r_{12} – питома теплота сублімації вологи.

Для теплових процесів – передавання тепла конвекцією, кондукцією, радіацією – існують математичні моделі у вигляді відповідних систем рівнянь. Наприклад, модель нестационарного теплового процесу розповсюдження тепла у друкованій платі (ДП) РЕЗ кондукцією – диференціальне рівняння параболічного типу:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T(x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 T(x, y, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, \tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{Q(x, y, \tau)}{\lambda}, \quad (10)$$

де $T(x, y, \tau)$ – температура; $Q(x, y, \tau)$ – потужність теплового джерела; a та λ – коефіцієнти температуро- та теплопровідності матеріалу плати.

Диференціальне рівняння механічних коливань ДП, одержане з (6):

$$m \frac{\partial^2 w}{\partial \tau^2} + D(1 + j\gamma) \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = P(x, y, \tau), \quad (11)$$

де m – зведена маса ДП; D – циліндрична жорсткість плати; γ – коефіцієнт механічних втрат (КМВ); j – уявна одиниця; $P(x, y, \tau)$ – зовнішня сила.

Інформаційні процеси – генерація, передавання, приймання, перетворення, зберігання інформації – здійснюються у тій чи іншій формі у багатьох РЕЗ. Якщо пов'язати витрати енергії на обробку одного біта інфор-

мації, тобто на одиничний акт зміни стану мікрочарунки пам'яті у мікросхемі (МС) (а вони лежать у межах 0,01 – 15 пДж), можна одержати математичну модель інформаційного процесу на основі рівнянь (6).

Результатом розв'язань рівнянь (7)...(11) будуть вирази для операторів Y , Z , функціонала F .

Розглянуті методи відображення фізичних явищ математичною моделлю – рівняння (7)...(11) – дуже часто ідеалізовано, спрощено подають характер фізичних процесів, без врахування значень ймовірносних характеристик реальних фізичних величин, які входять у згадані рівняння.

Гіпервипадкова природа фізичних процесів у РЕА

Фізична чи математична модель реального процесу у РЕЗ може бути представлена у вигляді критеріального рівняння, яке об'єднує фізичні величини, що взаємопов'язані між собою. Це вирази для операторів Y , у кожному з яких входять значення первинних параметрів X , P , Q , але останні по своїй суті є об'єктами, найбільш вичерпними характеристиками яких є їх ймовірносні характеристики.

Первинні параметри P по своїй суті є випадковими об'єктами з багатьох причин, найголовнішою з яких є вплив властивостей конструкційних матеріалів – фізичних, механічних, електричних, магнітних. Значення всіх них одержують експериментально, а на результати впливають: умови експерименту, що не можуть бути абсолютно однаковими (залежать від стану оточуючого середовища), точність вимірювального обладнання, методи обробки результатів; різними можуть бути методи визначення цих параметрів.

Значення параметрів, крім того, змінюються внаслідок зовнішніх (для конкретного елементу конструкції чи ЕРЕ) впливів Q , до яких слід віднести також й вплив часу (вплив процесів деградації – старіння).

Вхідні впливи X можна вважати деякими функціями режиму роботи РЕЗ, умов експлуатації, часу – вони не можуть бути детермінованими, завжди необхідно пам'ятати про ймовірносні межі їх зміни.

Внаслідок всього зазначеного, оператори $Y(X, P, Q)$ є функціями з ймовірносними характеристиками, а це призводить до висновку, що ймовірносну природу мають також й оператори Z , F .

Звідси витікає висновок: модель будь-якого процесу – фізична чи математична – для точного його опису також повинна бути ймовірсною, з відповідними ймовірносними характеристиками.

Сучасні дослідження усіх реальних явищ доводять, що останні більш адекватно подаються гіпервипадковими моделями, ніж випадковими: сімейство випадкових подій, величин, функцій чи полів залежить від параметра $g \in G$ – незалежного аргумента, який пов'язаний з умовами спостереження чи формування об'єкту, що розглядається [3].

Гіпервипадкова подія A – множина випадкових подій, для кожної з них визначена ймовірносна міра P_g , хоча для умов g , від яких A залежить, така

міра не визначена. Гіпервипадкові явища можна описати за допомогою триад (Ω, G, P_g) , де Ω – простір елементарних подій $\omega \in \Omega$; G – множина умов $g \in G$. Для характеристики гіпервипадкового явища X використовують верхню $P_S(X)$ та нижню $P_I(X)$ межі функції розподілу – межі ймовірності:

$$P_S(X) = \sup_{g \in G} P(X / g), \quad P_I(X) = \inf_{g \in G} P(X / g).$$

Для складних явищ (процесів, моделей) необхідно розглядати гіпервипадкові функції – скалярні чи векторні.

В узагальненому вигляді гіпервипадкова функція $Y(t)$ може бути подана як множина гіпервипадкових об'єктів:

- скалярна $Y(t) = \{ Y(t)/g \in G \}$ – множина гіпервипадкових величин;
- векторна $\vec{Y}(t) = \{ Y_1(t), \dots, Y_H(t) \}$ – множина гіпервипадкових скалярних функцій.

Гіпервипадкова функція за фіксації значень аргумента перетворюється у випадкову величину, а за фіксації умов визначення – у детерміновану функцію.

Характеризувати гіпервипадкову скалярну функцію можна:

- умовними функціями розподілу

$$F(\vec{y}, \vec{t} / g) = P\{Y(t_1) \leq y_1, \dots, Y(t_M) \leq y_M / g\};$$

- умовними щільностями розподілу гіпервипадкової L -мірної величини $\vec{Y} = (Y_1, \dots, Y_L)$

$$f(\vec{y}, \vec{t} / g) = \frac{\partial^L F(\vec{y}, \vec{t} / g)}{\partial y_1 \dots \partial y_L},$$

тобто аналогами випадкових величин, а також моментами функцій $Y(t)/g \in G$ (математичним сподіванням, дисперсією, кореляційними та коваріаційними моментами).

Характеристиками гіпервипадкової векторної H -мірної функції $\vec{Y}(t) = (Y_1(t), \dots, Y_H(t))$ можуть бути:

- щільності розподілу меж HL -мірної сумісної функції

$$f_S(\vec{y}_1, \dots, \vec{y}_H; \vec{t}_1, \dots, \vec{t}_H), \quad f_I(\vec{y}_1, \dots, \vec{y}_H; \vec{t}_1, \dots, \vec{t}_H);$$

- математичні сподівання меж

$$\vec{m}_S(t) = M_S[\vec{Y}(t)], \quad \vec{m}_I(t) = M_I[\vec{Y}(t)];$$

- дисперсії

$$\vec{D}_S(t) = D_S[\vec{Y}(t)], \quad \vec{D}_I(t) = D_I[\vec{Y}(t)],$$

коваріаційні та кореляційні функції меж.

Будь-який процес, що здійснюється у РЕЗ, може вважатися M -мірним гіпервипадковим вектором, характеристики якого:

– математичне очікування меж M -мірної векторної функції $\vec{\varphi}(\vec{X})$ гіпервипадкової L -мірної величини $\vec{X} = (X_1, \dots, X_L)$, яка має щільності розподілу меж $f_S(x_1, \dots, x_L)$ та $f_I(x_1, \dots, x_L)$:

$$\vec{m}_{Sx} = M_S[\vec{X}], \quad \vec{m}_{Ix} = M_I[\vec{X}]; \quad (8)$$

– дисперсії меж (математичні очікування меж) векторних функцій $\vec{\varphi}(\vec{X})$

$$\vec{D}_{Sx} = (X_l - \vec{m}_{Sxl})^2, \quad l = \overline{1, L}; \quad \vec{D}_{Ix} = (X_l - \vec{m}_{Ixl})^2, \quad l = \overline{1, L}; \quad (9)$$

– середньоквадратичні відхилення $\vec{\sigma}_{Sx} = \sqrt{\vec{D}_{Sx}}; \quad \vec{\sigma}_{Ix} = \sqrt{\vec{D}_{Ix}}.$

Ці характеристики й визначають, якими будуть значення функцій \mathbf{Z} чи \mathbf{F} – показники функціональної придатності спроектованого пристрою; особливість вказаних характеристик у тому, що значення \mathbf{Z} чи \mathbf{F} не є детермінованими, іншими словами – значень \mathbf{Z}, \mathbf{F} – багато, але всі вони повинні знаходитися у межах, визначених співвідношеннями (8), (9).

Проектування РЕА як об'єкту з гіпервипадковими характеристиками

Проектування РЕЗ – це створення математичних та фізичних моделей майбутнього пристрою, який повинен мати визначені характеристики, що можуть бути подані, як оператори \mathbf{Z} чи \mathbf{F} . Більшість відомих методів проектування можна об'єднати у три групи: структурно-аналітичні, адаптивні, структурно-оптимізаційні. Кожний з цих методів передбачає, що на одному з початкових етапів створюється математична модель спроектованого пристрою, яка потім трансформується у фізичну (конструкцію), а параметри останньої оптимізуються для досягнення найвищих показників якості.

Вимогу найвищої якості звичайно розуміють, як одержання мінімальної різниці між заданим значенням оператора \mathbf{Z}_P , та одержаного у спроектованому пристрою \mathbf{Z} : $\Delta\mathbf{Z} = |\mathbf{Z} - \mathbf{Z}_P| \rightarrow \min$.

Виходячи з гіпервипадкової природи первісних величин $\mathbf{X}, \mathbf{P}, \mathbf{Q}$, прийдемо до логічного висновку, що й критеріальні рівняння, які об'єднують первісні величини – моделі процесів $\mathbf{Y}, \mathbf{Z}, \mathbf{F}$ – також повинні бути гіпервипадковими M -мірними скалярними чи векторними функціями.

Внаслідок гіпервипадковості всіх складових функції \mathbf{Z} , у дійсності вона завжди буде множиною \mathbf{Z}_v зі своїм законом розподілу, його межами, характеристики яких повинні визначатися структурою об'єкта, відповідними гіпервипадковими законами розподілу його складових (аналогічне явище буде спостерігатися й у випадку, коли комплексна функція пристрою – функціонал \mathbf{F}).

Таким чином, під час проектування будь-якого технічного пристрою, а у особливості РЕЗ (внаслідок суттєвої складності останнього), необхідно передусім для всіх параметрів – зовнішніх впливів \mathbf{q}_r та вхідних \mathbf{x}_j , внутрішніх \mathbf{p}_k , вихідних \mathbf{y}_i – визначити їх гіпервипадкові характеристики та межі

останніх.

Структура РЕА як системи визначається функціональним призначенням – гіпервипадковими векторними функціями \mathbf{Z} чи \mathbf{F} . Згідно з цим у кожному РЕЗ можна виділити структурні складові, які й забезпечують виконання відповідного процесу $\mathbf{Y} = \mathbf{Y}(\mathbf{X}, \mathbf{P}, \mathbf{Q})$.

За функціональною складністю РЕЗ доцільно поділити на п'ять ієрархічних рівнів радіоелектронних (РЕ) складових: РЕ системи (найвищий), РЕ комплекси (РЕК), РЕ пристрої (РЕП) та РЕ функціональні вузли (РЕФВ), електрорадіоелементи (ЕРЕ):

$$\begin{aligned}\mathbf{S} &= [\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2 \dots \mathbf{U}_i \dots \mathbf{U}_m]^T && \text{– РЕ система;} \\ \mathbf{U}_i &= [\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2 \dots \mathbf{V}_j \dots \mathbf{V}_n]^T && \text{– РЕ комплекс;} \\ \mathbf{V}_j &= [\mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2 \dots \mathbf{W}_k \dots \mathbf{W}_p]^T && \text{– РЕП;} \\ \mathbf{W}_k &= [\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2 \dots \mathbf{E}_k \dots \mathbf{E}_q]^T && \text{– РЕФВ;} \\ \mathbf{E}_l &= [\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2 \dots \mathbf{w}_r \dots \mathbf{w}_s]^T && \text{– ЕРЕ}\end{aligned}$$

Останній рівень (ЕРЕ) – це резистори, конденсатори, індуктивності, дискретні напівпровідникові прилади (діоди, тиристори, транзистори) та МС загального призначення.

Топологічна складність РЕЗ є результатом структурної і функціональної: кожний РЕЗ фізично являє собою трьохмірний об'єкт з елементами різно-манітної форми, з'єднаними функціональними зв'язками. Найбільш складну топологію мають сучасні інтегровані МС, у кожній з яких може міститися понад 100 тис. електронних елементів.

За конструктивною складністю РЕА також необхідно віднести до найбільш складних технічних пристроїв, тому що у більшості сучасних РЕЗ кількість конструктивних елементів може сягати десятків тисяч (достатньо згадати персональну обчислювальну машину – ПЕОМ).

Функціональні показники РЕЗ у вигляді функцій $\mathbf{Y} = \mathbf{Y}(\mathbf{X}, \mathbf{P}, \mathbf{Q})$ мають визначатися у формі гіпервипадкових векторних функцій, методами теорії гіпервипадкових явищ [4]; найбільш складний вигляд таких функцій – для найвищого рівня – РЕ системи.

Аналогічний підхід повинен бути й до визначення *дестабілізуючих факторів*, що діють на РЕА – їх також необхідно вважати гіпервипадковими величинами. Головні за інтенсивністю дестабілізуючі впливи – електромагнітні, механічні та теплові.

Електромагнітні – це дія складових електромагнітного поля оточуючого середовища на РЕЗ у цілому, а також внутрішні поля, які виникають у ньому як результат функціонування окремих складових пристрою – вони взаємно впливають один на одного.

Механічні призводять до виникнення деформацій та напружень, що можуть бути загрозливими для міцності та витривалості елементів конструкції (іноді й для самих електронних складових). Джерела механічних навантажень в основному зовнішні, це результат дії лінійних, вібраційних та ударних прискорень, що діють на РЕЗ від носія РЕА чи основи, на якій РЕЗ закріплений; хоча ці впливи можуть виникати й всередині самого РЕЗ як наслідок роботи внутрішніх електромеханізмів та двигунів.

Теплові фактори – це температури, що виникають у елементах електронної структури РЕЗ як результат функціонування останніх (вищі, ніж температура оточуючого середовища внаслідок виділення тепла у кожному елементі), й які також можуть становити загрозу для функціонування РЕЗ.

Усі розглянуті впливи входять у множину впливів $X = \{x_k; k = 1, 2 \dots l\}$, тому важливою вимогою до конструкції є її *стійкість* – забезпечення функціонування апарату під час дії цих факторів, а також захист оточуючого середовища від можливих шкідливих впливів самого апарату.

Стійкою конструкцією можливо назвати лише таку, у якій виконуються умови $j_j(x_k) \leq j_{j\partial on}(x_k)$, $j = 1, 2 \dots m$; $y_j \in Y$, $x_k \in X$; $x_{k\min} \leq x_k \leq x_{k\max}$, при цьому інтервал зміни дії впливу $d_k = x_{k\max} - x_{k\min}$. Це означає, що $Y(X) \leq Y_{\partial on}(X)$ за будь-яких $y_j \in Y$, та $x_k \in X$ за $x_k \in d_k$.

Мірою стійкості конструкції R_k від k -того впливу можна прийняти

$$R_k = \frac{d_k}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{j_{j0}} \int_{x_{k\min}}^{x_{k\max}} \Delta y_j(x_k) dx_k}.$$

Якщо вважати, що сумарне відхилення від одного впливу $\delta = \int_{x_{k\min}}^{x_{k\max}} \Delta y_j(x_k) dx_k$, відносне відхилення $\delta_{\text{відн}} = \frac{1}{y_{j0}} \delta$, то $A = \sum_{j=1}^m \delta_{\text{відн}}$ є сумарний вплив від x_k , а вплив від множини X

$$B = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^m \frac{1}{y_{j0}} \int_{x_{k\min}}^{x_{k\max}} \Delta y_j(x_k) dx_k.$$

За врахування $x_k \in X$ будемо мати $R = \{R_k; k = 1, 2 \dots l\}$, тому мірою стійкості конструкції від k -того впливу буде $R_k^{\text{відн}} = \frac{R_k}{\sum_{k=1}^l R_k}$, де $R_k^{\text{відн}}$ – норма-

вана стійкість від впливу. Показники стійкості, таким чином, також мають визначатися, як векторні гіпервипадкові функції.

Висновки

1. Найбільш адекватно всі фізичні процеси, які відбуваються у технічних пристроях, можуть бути описані за допомогою теорії гіпервипадкових явищ.
2. Пристрої РЕА виділяються своєю унікальністю (передусім, складніс-

тю) серед всіх технічних об'єктів, всі процеси у них повинні розглядатися, як гіпервипадкові; тому й функціональні показники РЕЗ необхідно визначати, як векторні гіпервипадкові функції.

3. Методи проектування будь-якого технічного об'єкту, а у першу чергу РЕЗ, повинні бути побудовані на використанні математичного апарату теорії гіпервипадкових явищ.

4. Потрібно чітко уявляти, що під час проектування для кожного з функціональних показників РЕЗ буде одержана множина значень, яка визначається відповідним законом розподілу; межі, у яких знаходиться ця множина, також мають свої закони розподілу.

Література

1. Rivett P., Principles of model building. The construction of models for decision analysis, [Chichester] – 1972.

2. Лыков А.В. Теплообмен (Справочник). 2-е изд. М.: Энергия – 1978. – 480 с.

3. Горбань И.И. Теория гиперслучайных явлений. – Киев: НАНУ / Институт проблем математических машин и систем – 2007. – 184 с.

4. Горбань И.И. Представление физических явлений гиперслучайными моделями // Математичні машини і системи. – № 1, 2007. – с. 34 – 41.

Зінковський Ю.Ф., Уваров Б. М. Радіоелектронна апаратура як об'єкт теорії гіпервипадкових явищ. Розглянуті проблеми визначення показників функціонального призначення радіоелектронних засобів під час проектування на основі теорії гіпервипадкових явищ

Ключові слова: теорія гіпервипадкових явищ, радіоелектронна апаратура,

Зинковский Ю.Ф., Уваров Б. М. Радіоелектронная аппаратура как объект теории гиперслучайных явлений. Рассмотрены проблемы определения показателей функционального назначения радиоэлектронных средств при проектировании на основе теории гиперслучайных явлений

Ключевые слова: теория гиперслучайных явлений, радиоэлектронная аппаратура,

Zinkovsky J.F., Uvarov B.M. The radioelectronic equipment as object the theories hyperbolic-accidental of the phenomena. The problems of definition of parameters of functional assignment radioelectronic apparatus are considered at designing on the basis of the theory hyperbolic-accidental of the phenomena

Keywords: the theory hyperbolic-accidental of the phenomena, the radioelectronic equipment

УДК 691.391.052

ПРОЕКТУВАННЯ ПРОФІЛЮ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ В ПЛАНАРНИХ МЕТАЛОДІЕЛЕКТРИЧНИХ ХВИЛЕВОДАХ

Левандовський В.Г.

Головною спрямовуючою структурою багатьох пристроїв радіоелектроніки є тонкоплівковий хвилевід. Враховуючи високу вартість технологічного пошуку хвилеводів з потрібними для конкретних практичних потреб характеристиками, застосований в [1] метод, використовується для проектування профілю показника заломлення (ППЗ) в планарному металодіелектричному хвилеводі (МДХ) з оптимальними характеристиками. Застосування МДХ поширить функціональні можливості пристроїв.